

**“ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR PADA RUANG PERKULIAHAN DAN  
LABORATORIUM TERPADU FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS  
HASANUDDIN PASCA KEBAKARAN”**

**VINDA APRILIA DARUMBA**

Mahasiswa S1 Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10

Tamalanrea, Makassar

[vinda.darumba@gmail.com](mailto:vinda.darumba@gmail.com)

Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng

Pembimbing I

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10

Tamalanrea, Makassar

Telp/faks : 0411-587636

Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST, MT

Pembimbing II

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10

Tamalanrea, Makassar

Telp/faks : 0411-587636

**Abstract :** *This study purposed to analyze the residual strength of reinforced concrete structural elements of the post-fire and then recommend methods of structural repairs. Data taken from a case study that has been studied previously in the lecture room and an integrated laboratory Faculty of Agriculture, University of Hasanuddin on October 4, 2014 at 02:45. Testing was conducted by three (3) types, namely: 1. Evaluation Test Structure to obtain initial structural data, 2. Schmidt Hammer Test Test to determine the uniformity of concrete and obtaining the compressive strength of concrete structures, 3. Strong Pull Test Reinforcing Steel to acquire the value of residual tensile strength steel (fy). The results of structure calculations showed that the concrete structure has been decreased by 10% the strength of the structure with uneven levels of damage to the burned area (moderate impairment and severe damage) and recommended repair method is filling / plastering the classified section and reconstruction of the damaged structure heavily damaged.*

**Key Words:** *Concrete Post-Fire, Live Cycle, Repair Methods*

**Abstrak :** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan sisa elemen struktur beton bertulang pasca kebakaran dan kemudian merekomendasikan metode perbaikan struktur. Data diambil dari sebuah studi kasus yang telah diteliti sebelumnya pada ruang perkuliahan dan laboratorium terpadu Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pada tanggal 04 Oktober 2014 pukul 02.45. Pengujian ini dilakukan dengan 3 (tiga) jenis, yaitu: 1. Uji Evaluasi Struktur untuk memperoleh data struktur awal, 2. Uji Schmidt Hammer Test untuk mengetahui keseragaman beton dan memperoleh nilai kuat tekan struktur beton, 3. Uji Kuat Tarik Baja Tulangan untuk memperoleh nilai kuat tarik sisa baja (fy). Hasil perhitungan struktur menunjukkan bahwa struktur beton telah mengalami penurunan kekuatan struktur sebesar 10% dengan tingkat kerusakan tidak merata pada daerah terbakar (kerusakan sedang dan kerusakan berat) dan metode perbaikan yang direkomendasikan yaitu penambalan/plesteran pada bagian yang tergolong rusak sedang dan rekonstruksi pada struktur yang mengalami rusak berat.

**Kata-Kata Kunci :** Beton Pasca Bakar, Kekuatan Sisa, Metode Perbaikan

## **I. Pendahuluan**

### **I.1 Latar Belakang Masalah**

Kebakaran gedung akhir-akhir ini mendapat perhatian serius dari masyarakat, terkhususnya di Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan. Dalam setahun terakhir telah terjadi beberapa peristiwa kebakaran gedung, terhitung sejak Januari 2014 hingga Juni 2014 terjadi sebanyak 48 peristiwa kebakaran. Peristiwa kebakaran gedung sebagian besar berlangsung dengan durasi kebakaran yang cukup lama (lebih dari 30 menit). Fatma L dan RM Yodan (2006), menyebutkan sarana penanggulangan kebakaran yang harus dipenuhi pada suatu gedung berdasarkan standar nasional maupun internasional adalah sebagai berikut: 1. Sistem deteksi dan alarm kebakaran, 2. Sistem pemadam kebakaran, 3. Sistem pengendali kebakaran.

Pada tanggal 04 Oktober 2014 telah terjadi kebakaran pada ruang perkuliahan dan laboratorium terpadu Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin yang terletak di jalan Perintis Kemerdekaan. Sehubungan dengan peristiwa kebakaran maka dibutuhkan peranan teknik sipil untuk: 1. Memperkirakan temperature tertinggi pada elemen struktur selama terjadi kebakaran; 2. Menaksir kekuatan sisa struktur; 3. Merekomendasikan metode perbaikan.

Dalam jurnal penelitian oleh Lilis dan Ahmad (2012) disimpulkan bahwa balok komposit baja-beton akan mengalami retak disebabkan oleh temperatur, selain itu degradasi kekuatan balok komposit baja-beton dipengaruhi oleh temperatur dan lama pembakaran. Semakin tinggi temperatur, kuat lentur dan kekakuan balok dalam menerima beban juga semakin kecil.

Berdasarkan hal inilah maka penulis mengadakan penelitian mengenai “Analisis Kekuatan Struktur Pada Ruang Perkuliahan dan Laboratorium Terpadu Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin”. Penelitian ini diharapkan mampu memprediksi kekuatan sisa pada elemen struktur serta mengusulkan metode perbaikan.

### **I.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kekuatan sisa struktur pada ruang perkuliahan dan laboratorium

terpadu Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pasca kebakaran.

2. Bagaimana tingkat kerusakan struktur pada ruang perkuliahan dan laboratorium terpadu Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pasca kebakaran.
3. Bagaimana metode perbaikan struktur.

### **I.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis kekuatan sisa pada elemen struktur pasca kebakaran secara komputasi.
2. Menganalisis tingkat kerusakan struktur pasca kebakaran.
3. Merekomendasikan metode perbaikan struktur.

### **I.4 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat sebagai referensi untuk melaksanakan metode perbaikan struktur pasca kebakaran.

### **I.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian**

Ruang lingkup penelitian ini:

1. Melakukan pemeriksaan balok, kolom, dan pelat pada bangunan (ruang perkuliahan dan laboratorium terpadu lantai 3 Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin) pasca kebakaran dengan pemeriksaan secara visual, pengujian karbonasi, pengujian dengan alat palu beton (*Schmidt Hammer Test*), dan pengujian kuat tarik baja tulangan.
2. Melakukan permodelan struktur secara komputasi dan menganalisis kekuatan struktur sebelum kebakaran pada bangunan Fakultas Pertanian untuk selanjutnya digunakan dalam perhitungan persentasi kehilangan kekuatan struktur bangunan pasca kebakaran.
3. Melakukan permodelan struktur dan menganalisis kekuatan struktur (balok, kolom, dan pelat) pasca kebakaran secara komputasi.
4. Mengusulkan metode perbaikan pada struktur.

Batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Aturan-aturan yang digunakan adalah:
  - a. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983.
  - b. SNI 03-2847-2002 mengenai Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.

- c. SNI 1726-2012 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
  - d. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-2005) and Commentary (ACI 318R-2005).
  - e. Pedoman Teknis Pd-T-08-2004-C tentang Pemeriksaan Konstruksi Bangunan Beton Bertulang Pasca Terbakar.
2. Pemeriksaan konstruksi ruang perkuliahan dan laboratorium terpadu Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pasca kebakaran tidak sepenuhnya dilakukan berdasarkan Pedoman Teknis Pd-T-2004-C dikarenakan keterbatasan alat pengujian dan perijinan pemeriksaan kerusakan yang hanya memperbolehkan pengujian yang bersifat non-destruktif (tidak merusak).
  3. Pemeriksaan tingkat kerusakan elemen struktur untuk selanjutnya digunakan dalam analisis kekuatan sisa meliputi: pemeriksaan secara visual, pengujian karbonasi, pengujian dengan alat palu beton (Schmidt hammer test), dan pengujian kuat tarik baja tulangan.
  4. Analisa struktur dengan analisa numerik.

## II. Kajian Pustaka

### 2.1 Peraturan Sistem Keamanan Gedung saat Kebakaran

Pada Tabel 2.1 disajikan klasifikasi gedung atau bangunan berdasarkan kelasnya yang dapat diuraikan berdasarkan jumlah penghuni maupun peruntukannya. KEPMEN PU 10/KPTS/2000 mengklasifikasikan bangunan gedung sebagai berikut: Tabel 2.1 Klasifikasi Bangunan Berdasarkan Kelasnya

KELAS BANGUNAN	URAIAN
Kelas 1	Bangunan Hunian Biasa Kelas 1a: bangunan hunian tunggal Kelas 1b: rumah asrama/kost, rumah tamu, hotel atau sejenisnya dengan luas lantai kurang dari 300 m <sup>2</sup>
Kelas 2	Bangunan hunian yang terdiri dari 2 atau lebih hunian yang masing-masing merupakan tempat tinggal terpisah.
Kelas 3	Bangunan hunian di luar bangunan kelas 1 atau 2 yang umum digunakan sebagai tempat tinggal lama atau sementara.
Kelas 4	Bangunan hunian campuran yang merupakan tempat tinggal yang berada di dalam suatu bangunan kelas 5, 6, 7, 8, atau 9 dan merupakan tempat tinggal yang ada dalam bangunan tersebut.
Kelas 5	Bangunan kantor

Kelas 6	Bangunan perdagangan
Kelas 7	Bangunan penyimpanan/gudang
Kelas 8	Bangunan Laboratorium/industry/pabrik
Kelas 9	Bangunan umum Kelas 9a: bangunan perawatan kesehatan; Kelas 9b: bangunan pertemuan, sekolah, rumah ibadat, hall, bangunan budaya atau sejenisnya.
Kelas 10	Bangunan atau struktur bukan hunian Kelas 10a: garasi pribadi, carport, atau sejenisnya Kelas 10b: struktur berupa pagar, tonggak, antenna, dinding penyangga atau dinding yang berdiri bebas, kolam renang, atau sejenisnya

Berkaitan dengan struktur bangunan, maka diperlukan Sistem Proteksi Pasif (SPP) dan Sistem Proteksi Aktif (SPA) yang diuraikan sebagai berikut:

#### 2.1.1 Sistem Proteksi Pasif (SPP)

Sistem proteksi pasif adalah kemampuan stabilitas struktur dan elemennya, konstruksi tahan api, kompartemenisasi dan pemisahan, serta proteksi pada bukaan yang ada untuk menahan dan membatasi kecepatan menjalarnya api dan asap. Sistem proteksi pasif terdiri dari:

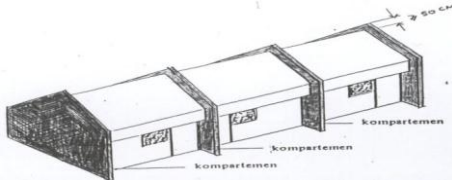
1. Ketahanan api dan stabilitas  
Bangunan gedung harus stabil secara struktural selama kebakaran sehingga ketika terjadi kebakaran, penghuni gedung dapat memiliki waktu untuk evakuasi dan pemadam kebakaran dapat memasuki lokasi untuk memadamkan kebakaran.
2. Tipe konstruksi tahan api  
Berkaitan dengan ketahanan terhadap api, maka terdapat 3 (tiga) tipe konstruksi, yaitu:
  - a. Tipe A, yaitu konstruksi yang unsur-unsur struktur pembentuknya adalah tahan api.
  - b. Tipe B, yaitu konstruksi yang unsur-unsur struktur pembentuk kompartemen penahan api.
  - c. Tipe C, yaitu konstruksi yang terbentuk dari unsur-unsur struktur yang dapat terbakar (tidak bertahan pada api).
3. Tipe konstruksi yang diwajibkan minimum tipe konstruksi tahan api dari suatu bangunan harus sesuai dengan ketentuan pada tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Tipe Konstruksi yang Diwajibkan berdasarkan KEPMEN PU 10/KTPS/2000

Ketinggian (dalam jumlah lantai)	Kelas Bangunan	
	2, 3, 9	5, 6, 7, 8
4 atau lebih	A	A
3	A	B
2	B	C
1	C	C

(Sumber : Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum)

4. **Kompartemenisasi dan Pemisahan**  
Kompartemenisasi adalah usaha untuk mencegah penjaralan api yang dilakukan dengan membatasi api menggunakan dinding, lantai, kolom, balok, dan elemen lainnya yang tahan api dalam waktu yang ditentukan seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kompartemenisasi Bangunan Rumah Gandeng

5. **Proteksi bukaan**  
Seluruh bukaan harus dilindungi dan lubang utilitas harus diberi penyedot api untuk mencegah merambatnya api serta menjamin pemisahan dan kompartemenisasi bangunan. Bukaan vertikal pada bangunan yang dipergunakan untuk shaft pipa, shaft ventilasi, dan shaft instalasi listrik harus sepenuhnya tertutup dengan dinding dari bawah sampai atas, dan tertutup pada setiap lantai.

### 2.1.2 Sistem Proteksi Aktif (SPA)

Sistem proteksi aktif adalah kemampuan peralatan dalam mendeteksi dan memadamkan kebakaran, pengendalian asap, dan sarana penyelamatan kebakaran.

1. Sistem pemadam kebakaran
  - a. Hidran kebakaran  
Hidran kebakaran harus dipasang pada bangunan yang memiliki luas lantai total lebih dari 500 m<sup>2</sup>.
  - b. Sistem sprinkler  
Sistem sprinkler dipasang sesuai dengan tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Pesyaratan Pemakaian Sprinkler

\*) jenis bangunan dengan resiko bahaya kebakaran tinggi sesuai standar teknis yang berlaku

(sumber: Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum)

Jenis Bangunan	Kapan Sprinkler
Semua Klas Bangunan: 1. Termasuk lapangan parkir terbuka dalam bangunan campuran 2. Tidak termasuk lapangan parkir terbuka yang merupakan bangunan terpisah	Pada bangunan yang tinggi efektifnya lebih dari 25 m
Bangunan Pertokoan (kbs 6)	Dalam kompartemenisasi dengan salah satu ketentuan berikut: (a) Luas lantai lebih dari 3500 m <sup>2</sup> (b) Volume ruangan lebih dari 21.000 m <sup>3</sup>
Bangunan Rumah Sakit	Lebih dari 2 lantai
Ruang Pertemuan Umum	Luas panggung dan belakang panggung
Ruang Pertunjukan. Teater	Lebih dari 200 m
Konstruksi Atrium	Tiap bangunan beratrium
Bangunan besar dan terpisah	Untuk memperoleh ukuran kompartemen yang lebih besar: (a) Bangunan klas 5-9 dengan luas maksimum 18.000 m <sup>2</sup> dan volume 108.000 m <sup>3</sup> . (b) Semua bangunan dengan luas lantai lebih besar dari 18.000 m <sup>2</sup> dan volume 108.000 m <sup>3</sup>
Ruang Parkir selain ruang parkir terbuka	Bila menampung lebih dari 40 kendaraan
Bangunan dengan resiko bahaya kebakaran, 2 persyaratan berikut: Amat tinggi. *)	Pada kompartemen, dengan salah satu dari persyaratan: (a) Luas lantai melebihi 2000 m <sup>2</sup> (b) Volume lebih dari 12.000 m <sup>3</sup>

### c. Pemadam api ringan (PAR)

PAR yang jenisnya sesuai kebutuhan dipasang diseluruh bangunan untuk menghindari kebakaran dan pencegahan sebelum api membesar.

1. Sistem deteksi dan alarm kebakaran  
Sistem deteksi dan alarm kebakaran otomatis dipasang di bangunan kelas 1b, bangunan kelas 2 dengan persyaratan khusus, bangunan kelas 3 yang menampung lebih dari 20 penghuni dan di bangunan kelas 9a.
2. Pengendalian asap kebakaran  
Saat terjadi kebakaran, setiap rute evakuasi harus dijaga dengan ketinggian asap sekurang-kurangnya 2,10 m di atas level lantai sehingga temperatur ruang dan tingkat racun asap tidak membahayakan manusia selama tenggang waktu tertentu,
3. Pusat pengendali kebakaran  
Pusat pengendali kebakaran adalah sebuah ruang yang disediakan untuk pengendalian dan pengarahan selama berlangsungnya

operasi penanggulangan kebakaran atau penanganan kondisi darurat lainnya.

## 2.2 Pengaruh Kebakaran Terhadap Struktur Beton

Adapun beberapa pengaruh kebakaran terhadap struktur beton, yaitu:

### 1. Pengaruh warna pada beton

Kebakaran mengakibatkan beton mengalami peningkatan suhu dan salah satu pengaruh suhu yang dapat diperoleh secara visual adalah terjadinya perubahan warna pada beton. Menurut Hansen T.C (1976), bila beton dipanasi sampai sedikit di atas suhu 300° C maka beton akan berwarna merah muda, jika dipanasi sampai di atas suhu 600° C akan berwarna abu-abu agak hijau, jika sampai di atas 900° C menjadi warna abu-abu, dan jika pemanasan dilakukan sampai di atas 1200° C akan berubah menjadi warna kuning. Perubahan warna dan kondisi beton sesuai perubahan suhu dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Perubahan Warna dan Kondisi Beton Sesuai Perubahan Suhu

Suhu	Warna Beton	Kondisi
0 - 300° C	Normal	Tidak mengalami penurunan kekuatan
300° C - 600° C	Merah jambu	Mengalami penurunan kekuatan
600° C - 900° C	Putih keabu-abuan	Tidak mempunyai kekuatan lagi
>900° C	Kuning muda	Tidak mempunyai kekuatan lagi

Sumber: Adang Suharman, 1998

Pada lokasi kebakaran (Gambar 2.2) beton mengalami perubahan warna yaitu berwarna hitam dan coklat dengan bayangan merah muda pada beberapa bagian. Perubahan warna ini menunjukkan bahwa lokasi mengalami kebakaran yang cukup lama dengan suhu 300-600°C.



Gambar 2.2 Beton terbakar pada suhu 300-600 °C.

Salah satu sisi balok (Gambar 2.3) menunjukkan beton berwarna hitam coklat bahkan putih di bagian bawah balok menunjukkan lokasi ini mengalami kebakaran dengan suhu < 600 °C.



Gambar 2.3 Beton terbakar dengan suhu < 600 °C

### 2. *Spalling* pada beton

*Spalling* adalah gejala terkelupasnya selimut beton baik kecil maupun besar sehingga tulangan pada beton dapat terlihat. Beberapa tipe agregat seperti silika akan pecah karena perubahan pada struktur kristalnya pada permukaan beton. Selain itu dapat pula terjadi efek yang lebih yaitu hancurnya permukaan beton karena pemuaian thermal dan ditambah lagi adanya tekanan yang dihasilkan dari uap air yang terjebak dalam pori (Taylor, 2002).

### 3. Retak (*cracking*)

*Cracking* adalah peristiwa retaknya permukaan beton karena mengalami penyusutan akibat temperatur tinggi pada saat pengeringan.

Retak atau *cracking* dibedakan dalam 3 (tiga) macam, yaitu:

- Retak kecil dengan lebar retakan kurang dari 0.5 mm;
- Retak sedang dengan lebar retakan antara 0.5 mm sampai 1.2 mm
- Retak besar dengan lebar retakan lebih dari 1.2 mm.(Henry Hartono, 2007)

Pada sekitar lokasi pengujian karbonasi yang dilakukan pada kolom (lihat Gambar 2.4) terlihat beton mengalami retak kecil dengan lebar retakan kurang dari 0.5 mm.



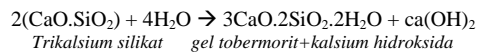
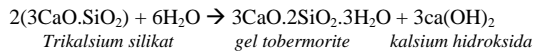
Gambar 2.4 Beton mengalami retak kurang dari 0.5 mm

#### 4. Perubahan Kimiawi Beton

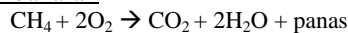
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rochman (2006), pada suhu sekitar 200° C beton tidak mengalami penurunan kekuatan, tetapi sebaliknya beton mengalami peningkatan kekuatan sebesar 10-15% dibandingkan dengan beton yang tanpa mengalami pemanasan. Hal ini disebabkan karena terjadi pengupuan dan penetrasi air ke dalam rongga-rongga beton yang lebih dalam sehingga dapat memperbaiki lekatan antar partikel C-S-H. kemudian jika dipanaskan lebih dari 200° C maka beton akan mengalami penurunan kekuatan.

Berikut ini adalah reaksi kimia beton pasca bakar:

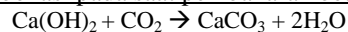
##### Reaksi hidrasi beton



##### Reaksi Pembakaran



##### Reaksi karbonasi pada saat pembakaran beton



Reaksi di atas menyebabkan terjadinya perubahan pH pada beton yang awalnya sekitar 12,5 turun hingga lebih kecil dari 9. Namun perubahan pH ini hanya terjadi pada lapisan yang mampu ditembus oleh karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebagai hasil reaksi karbonisasi.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Levi, 2004) pembakaran pada beton dengan suhu 500-700° C beton akan mengalami kerusakan dan penurunan kekuatan, selain itu beton juga akan berubah kembali menjadi semen. Pada saat beton dibakar dengan suhu 300° C maka air dari pori-pori beton akan menguap. Pada temperatur 450-550° C senyawa Ca(OH)<sub>2</sub> akan terurai menjadi senyawa CaO dan H<sub>2</sub>O. Pada temperatur 600-700° C senyawa CSH akan terurai menjadi butiran semen.

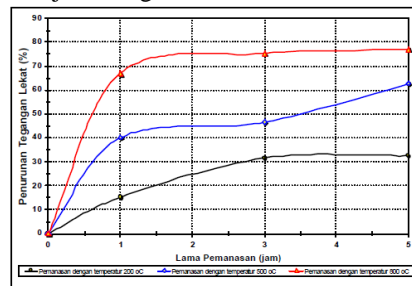
#### 2.3 Kekuatan Lekat Beton dan Baja Tulangan

Beton adalah material yang terbentuk dari pasta semen dan agregat. Beton merupakan material yang getas dalam menahan gaya tekan, namun lemah terhadap gaya tarik. Untuk mengimbangi kelemahan beton maka diberikan baja tulangan yang kuat terhadap gaya tarik sehingga terbentuklah material komposit yang efisien yaitu beton bertulang (Resmi Bestari, 2009).

Pada perencanaannya, beton bertulang diasumsikan bahwa sama sekali tidak boleh terjadi selip pada tulangan terhadap beton di sekitarnya. Dengan kata lain, tulangan dan beton sebaiknya tetap bersatu dan melekat. Besar nilai tegangan lekat antara baja tulangan yang tertanam dalam beton (W.C. Vis dan Gideon K, 1993) terutama tergantung pada diameter tulangan yang diangkerkan, kualitas beton, dan letak tulangan dalam konstruksi.

Pada temperatur tinggi diperoleh adanya perubahan terhadap kekuatan lekat antara baja tulangan dan beton. Perubahan nilai kekuatan lekat ini disebabkan karena terjadinya perubahan terhadap masing-masing material pada temperature tinggi.

Sebuah penelitian dilakukan oleh Ellen Kumaat (2003) menunjukkan terjadinya perubahan nilai kekuatan lekat antara baja tulangan dengan beton pada pembakaran yang dilakukan dengan suhu hingga 800°C. Dari hasil penelitian (lihat gambar 2.5) menunjukkan bahwa kekuatan lekat antara baja tulangan dan beton umur 28 hari akan menurun berturut-turut sekitar 15%-32%, 40%-63%, dan 67%-77% akibat pemanasan pada temperature 200°C, 500°C, dan 800°C dengan lama pemanasan 1, 3, dan 5 jam. Penurunan kekuatan lekat ini disebabkan karena melemahnya material beton itu sendiri serta terjadinya proses dekarburisasi pada material baja tulangan.



Gambar 2.5 Hubungan Penurunan Kekuatan Lekat Antara Beton dan Baja Tulangan dengan Lama Pemanasan

#### 2.4 Metode Pengujian Pada Kasus Kebakaran

Pengujian yang dilakukan untuk menentukan kekuatan sisa pada beton bertulang terbagi dalam dua bagian yaitu pengujian destruktif (pengujian merusak) dan pengujian non-destruktif (pengujian tidak merusak). Beberapa tipe pengujian dan alat-alat yang digunakan untuk pengambilan data di lapangan: *Rebound Hammer Test*, *Ultrasonic apparatus*, *Pull out test*, *Minicore Drill*, *Penetration Resistance Test*, *Internal Fracture Test*, *Break-off*



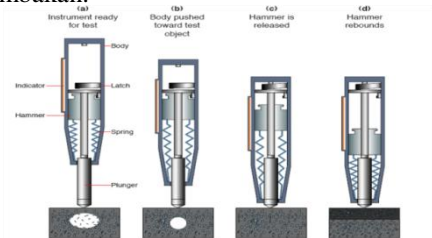
*Test, Pull Off Test, Chemical Test dan Loading Test.*

Dalam kasus kebakaran ruang perkuliahan dan laboratorium terpadu Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin Makassar digunakan beberapa pengujian, yaitu pengujian tanpa harus merusak material melalui pengujian Hammer Test untuk mengetahui kuat tekan beton dan pengujian yang merusak material, yaitu pengujian kuat tarik baja tulangan dan pengujian karbonasi dengan menggunakan indikator kimia yaitu *Phenolpthalein*.

#### 2.4.1 Pengujian dengan Hammer Beton

*Swiss Hammer* adalah salah satu pengujian non-destruktif yang mudah dilakukan di lapangan. Menurut (Fintel, 1985) *Hammer Test* digunakan untuk memeriksa keseragaman dari struktur beton, untuk menentukan lokasi terdapat beton dengan mutu rendah, dan juga untuk memperkirakan kekuatan beton sehingga bisa diketahui apakah beton tersebut layak untuk diberi beban atau tidak. (ASTM Standards, 2002)

Prinsip kerja *Hammer Test* yang dapat dilihat pada gambar 2.6, menghasilkan sebuah nilai rebound sesaat setelah tangkai baja (plunger) masuk ke dalam hammer karena ada gaya dorong ke arah permukaan beton. Nilai rebound ini dihasilkan dari reaksi hantaman beban di dalam hammer melalui plunger ke permukaan beton, gaya reaksi tersebut memberikan tolakan berlawanan kepada beban yang kemudian menggerakkan sebuah pointer sampai ke titik tertentu yang terbaca pada skala ukur. Nilai rebound ini yang kemudian menunjukkan kuat tekan beton setelah dikonversi melalui grafik atau tabel yang ada pada alat hammer sesuai sudut penembakan.



Gambar 2.6 Ilustrasi Cara Kerja Rebound Hammer (ACI 228. IR-95)

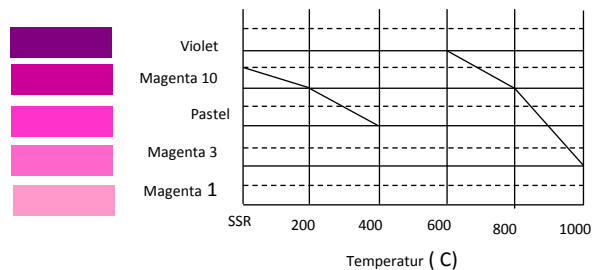
Di Indonesia penggunaan hammer ini diatur dalam SNI 03-4430-1997. Dan berdasarkan standarisasi ini maka diketahui bahwa tebal elemen struktur pelat dan dinding minimal 100 mm dan kolom minimal 125mm

#### 2.4.2 Pengujian Karbonasi

Karbonasi pada beton terjadi karena adanya unsur kalsium pada beton yang tercampur dan bereaksi dengan karbon dioksida yang ada di udara dan berubah menjadi kalsium karbonat. Ada sekitar 25-50% pasta semen yang mengandung kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) dengan rata-rata nilai pH untuk pasta semen segar sebesar 12,5 dan untuk nilai pH pasta semen yang terkarbonasi sebesar 7.

Karbonisasi pada beton dapat menyebabkan terjadinya proses korosi pada tulangan beton dan proses penyusutan (*shrinkage*). Untuk dapat mengetahui secara cepat apakah beton telah mengalami karbonasi maka dapat dilakukan dengan cara meneteskan atau menyemprotkan cairan *Phenolphthalein*.

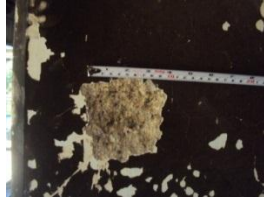
*Phenolphthalein* adalah salah satu indikator kimia yang digunakan untuk mengetahui sifat asam atau basa pada material melalui perubahan warna yang dihasilkan ketika telah meneteskan *Phenolphthalein* (Brady dkk, 1997). Apabila setelah ditetaskan maka terjadi perubahan warna maka material tersebut bersifat basa (lihat Gambar 2.9) namun jika tidak terjadi perubahan warna maka material tersebut bersifat asam (lihat Gambar 2.10). Parker (1983) menyatakan bahwa rentang pH *Phenolphthalein* adalah antara 8,4 ~ 10, yang ditunjukkan oleh respon warna pada gambar 2.8: merah sangat tua (violet 3) ~ merah sangat muda (magenta 1). Untuk membuat indikator, setiap 1gr *Phenolphthalein* dilarutkan ke dalam 50 ml (atau 100 ml) alkohol murni.



Gambar 2.8 Hubungan Temperatur dengan Indikator Warna menggunakan *Phenolpthalein*



Gambar 2.9 Beton mengalami perubahan warna dalam uji karbonasi

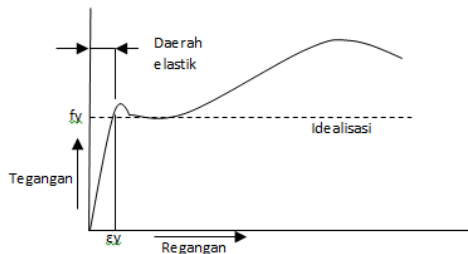


Gambar 2.10 Beton tidak mengalami perubahan warna dalam uji karbonasi

#### 2.4.2 Pengujian Tarik Baja

Struktur bangunan beton bertulang terdiri dari beton dan baja tulangan. Beton dapat menahan tekan namun lemah terhadap tarik sehingga untuk menghasilkan struktur yang dapat berfungsi dengan baik dalam pembebanan maka dalam beton diberi penulangan untuk menahan gaya tarik. Baja tulangan terdiri dari dua tipe atau jenis yaitu BJTP (batang polos berpenampang bulat) dan BJTD (batang deformasian).

Sifat fisik batang tulangan baja yang digunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang ialah  $f_y$  (tegangan luluh) dan  $E_s$  (modulus elastisitas). Menurut SII 0136-84, tegangan luluh ialah tegangan baja pada saat mana meningkatnya tegangan tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya. Hal ini dapat dilihat pada grafik tegangan-regangan pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 Tegangan versus Regangan Batang Tulangan Baja

Modulus elastis baja tulangan dilihat berdasarkan kemiringan awal kurva tegangan-regangan di daerah elastis dimana antara mutu baja yang satu dengan yang lainnya tidak banyak variasi. Ketentuan SK SNI T-15-991-03 menetapkan bahwa modulus elastis baja adalah 200.000 MPa.

Pada tabel 2.5 merupakan batas ulur minimum dan kuat tarik minimum pada tiap jenis baja tulangan.

Tabel 2.5 Klasifikasi Baja Tulangan Berdasarkan Jenis, Batas Ulur Minimum, dan Kuat Tarik Minimum berdasarkan SII 0136-80

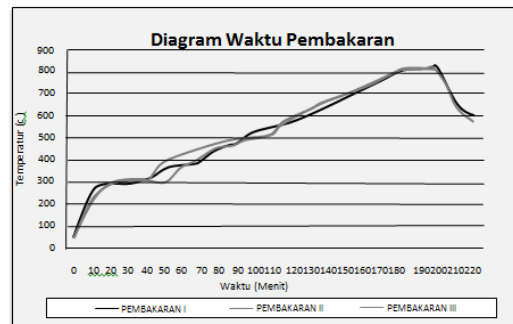
	Kelas	Simbol	Batas ulur minimum (N/mm <sup>2</sup> )	Kuat tarik minimum (N/mm <sup>2</sup> )
Polos	1	BJTP24	235 (24)	382 (39)
	2	BJTP30	294 (30)	480 (49)
Deform	1	BJTD24	235 (24)	382 (39)
	2	BJTD30	294 (30)	480 (40)
	3	BJTD35	345 (35)	490 (50)
	4	BJTD40	392 (40)	559 (57)
	5	BJTD50	490 (50)	610 (63)

#### 2.5 Live Cycle (Kekuatan Sisa Pasca Kebakaran)

Henry Hartono (2007) mengungkapkan sifat utama dari beton yaitu kuat menerima beban tekan, maka untuk mengetahui mutu beton, dapat dibedakan berdasarkan kuat beton tersebut dalam 3 (tiga) bagian, yaitu:

- beton dengan  $f'_c$  kurang dari 10 MPa, digunakan untuk beton non struktur.
- Beton dengan  $f'_c = 10$  MPa ke atas dan kurang dari 20 Mpa biasanya digunakan untuk beton struktur.
- Khusus struktur bangunan tahan gempa digunakan mutu beton  $f'_c$  minimal 20 MPa.

Sebuah pengujian pembakaran beton yang dilaksanakan oleh (A.A Gede Sutapa, dkk, 2011) dengan menargetkan suhu 800° C yang dicapai pada menit ke 180 (3 jam) dan setelah itu didiamkan selama 20 menit, sehingga total waktu selama 200 menit. Diagram waktu pembakaran dapat dilihat pada gambar 2.17 berikut.

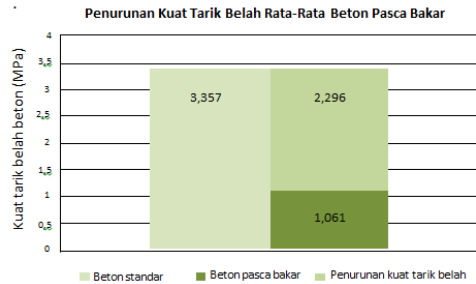


Gambar 2.17 Hubungan antara waktu dan temperatur tungku pembakaran.

Dari pengujian ini menunjukkan bahwa beton yang terbakar pada temperatur 800° C yang dicapai dalam 180 menit mengalami penurunan kuat tarik



belah sebesar 2.296 MPa atau 68.393% terhadap kondisi awal (lihat gambar 2.18)



Gambar 2.18 Penurunan kuat tarik belah rata-rata beton pasca bakar

## 2.6 Metode Perbaikan Struktur Pasca Kebakaran

Menurut Tri Mulyono (2005), kerusakan beton dapat terjadi akibat beberapa pengaruh yaitu:

1. kerusakan akibat pengaruh mekanis, yang paling umum adalah gempa. Variasi kerusakan yang timbul dapat berupa roesan-goresan (retak rambut) hingga kerusakan hancur.
2. Kerusakan akibat pengaruh fisika, biasanya disebabkan oleh pengaruh temperatur yang menimbulkan kehilangan panas hidrasi dan kebakaran.
3. Kerusakan akibat pengaruh kimia, kerusakan ini berkaitan langsung dengan lingkungan setempat dan struktur beton, misalnya terjadi korosi ataupun tingkat keasaman yang tinggi.

Sedangkan berdasarkan Pedoman Teknis Pd-T-2004-C mengenai Pemeriksaan Konstruksi Bangunan Beton Bertulang Pasca Terbakar, tingkat kerusakan konstruksi bangunan berdasarkan pemeriksaan visual dan hasil uji dapat diklasifikasikan menjadi empat tingkat yaitu:

1. Rusak ringan
  - a. Kerusakan terjadi hanya pada bagian permukaan,
  - b. Tidak terjadi perubahan warna beton atau hanya terjadi warna hitam akibat jelaga,
  - c. Tidak terjadi perubahan bentuk (deformasi/lendutan), terutama pada elemen balok dan pelat lantai,
  - d. Retak-retak yang terjadi hanya pada plesteran dan tidak tembus kebagian dalam,
  - e. Lendutan atau defleksi struktur utama tidak melebihi 1/300 bentang,
  - f. Kuat tekan beton terpasang yang diperoleh dari hasil uji lebih besar dari 80% rencana.

2. Rusak sedang
  - a. Terjadi kerusakan struktur pada bagian permukaan yang ditandai dengan adanya pengelupasan atau spalling,
  - b. Permukaan beton berwarna pink (merah muda),
  - c. Terjadi perubahan bentuk (deformasi/lendutan), terutama pada elemen balok dan pelat lantai,
  - d. Retak-retak yang terjadi tembus kebagian dalam dan menembus ke tulangan,
  - e. Terjadi lendutan atau defleksi pada struktur utama lebih dari 1/300 bentang,
  - f. Kuat tekan beton terpasang berkisar antara 65-80% rencana.
3. Rusak berat
  - a. Kerusakan struktur utama cukup besar,
  - b. Permukaan beton berwarna putih keabuan hingga kekuning-kuningan,
  - c. Terjadi pengelupasan atau spalling pada permukaan beton dengan jumlah dan ukuran besar,
  - d. Tulangan baja terlihat dari luar,
  - e. Lendutan atau defleksi pada struktur utama cukup besar,
  - f. Kuat tekan beton terpasang berkisar antara 50% dari rencana
4. Rusak total
  - a. Struktur utama runtuh,
  - b. Struktur utama tidak dapat berfungsi sebagai kompartemen,
  - c. Retak komponen struktur terbus dari permukaan satu ke permukaan lainnya,
  - d. Kuat tekan beton terpasang kurang dari 50% dari rencana

Untuk memperbaiki kerusakan-kerusakan yang ditimbulkan maka diperlukan metode perbaikan yang tepat sesuai dengan kerusakan yang ditimbulkan. Tindakan perbaikan dapat berupa:

1. Pengasaran lapis permukaan;
2. Penghancuran bagian yang rusak dan menggantinya dengan beton baru (demolition);
3. Pengasaran sedikit bagian permukaan atau membuang sedikit bagian yang rusak (chipping);
4. Pengamplasan (sandblasting);
5. Pemberian lapisan pada permukaan yang diperbaiki (coating).
6. Jika terjadi kerusakan total yaitu beton pecah/terkelupas sehingga tulangan terlihat, bahkan tulangan putus/tertekuk dan inti beton hancur maka perlu dilakukan rekonstruksi (pembangunan kembali)

### III. Metodologi Penelitian

#### 3.1 Pengamatan Visual

Pengamatan visual merupakan penyelidikan awal yang dilaksanakan di lapangan. Pengamatan ini dilaksanakan dengan mengunjungi lokasi kebakaran yaitu gedung perkuliahan dan laboratorium terpadu Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin.

Pengamatan visual dilakukan dengan mengamati secara langsung kondisi bangunan yang bertujuan untuk memperkirakan durasi dan temperatur pada saat terjadi kebakaran, serta menentukan tingkat kerusakan bangunan pasca kebakaran.



Gambar 3.1 Lokasi Pengamatan Pasca Kebakaran

Ruang perkuliahan dan laboratorium terpadu Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin terdiri dari 4 (empat) ruang kuliah dan 3 (tiga) laboratorium dan satu ruang administrasi dengan ukuran keseluruhan panjang sekitar 70,80 meter, dan tinggi bangunan 4 meter, serta elevasi 12 meter dari permukaan tanah.

#### 3.2 Pengujian Karbonasi

Pengujian karbonasi dilakukan untuk mengetahui seberapa dalam beton tersebut telah mengalami karbonasi. Berikut langkah-langkah pengujian karbonasi:

Alat:

- Wadah penyemprot
- Palu / Betel

Bahan:

- *Phenol Phnaftalein* (PP cair)
- Sampel beton

Langkah pengujian:

- Masukkan cairan *Phenol Phnaftalein* (PP) ke dalam wadah penyemprot.
- Kupas atau pecahkan permukaan sampel beton menggunakan palu dan betel.
- Semprotkan cairan *Phenol Phnaftalein* pada beton.
- Amati perubahan warna yang terjadi pada beton yang telah disemprot.

#### 3.3 Pengujian Alat Palu Beton Tipe N

Metode pengujian yang digunakan adalah Metode Pengujian Kuat Elemen Struktur Beton dengan menggunakan alat uji palu beton Type N dan NR berdasarkan SNI 03-4430-1997. Metode ini digunakan sebagai dasar pengujian kekerasan permukaan beton. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk ‘memperkirakan’ nilai kuat tekan beton pada elemen struktur yang digunakan pada pengendalian mutu beton di lapangan pasca kebakaran.

#### 3.4 Kuat Tarik Baja

Metode pengujian yang digunakan adalah Metode Pengujian Kuat Tarik Baja Beton sesuai dengan SNI 07-2529-1991. Metode pengujian ini digunakan sebagai dasar pengujian kuat tarik baja beton. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh nilai kuat tarik baja beton. Selanjutnya, pengujian ini digunakan untuk pengendalian mutu baja.

#### 3.5 Analisis Kekuatan Struktur Beton Pasca Kebakaran

##### 3.5.1 Analisis Struktur

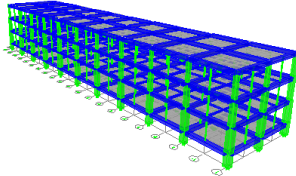
Ruang perkuliahan dan laboratorium terpadu berada pada lantai ke-3 gedung fakultas pertanian yang dirancang untuk menahan beban mati (DL), beban hidup (LL), dan beban gempa (E). Analisa struktur dihitung dengan analisa numerik dan struktur didesain dalam 3D.

Struktur bangunan terdiri dari balok dan kolom yang membentuk rangka portal yang didesain sebagai ‘balok lemah kolom kuat’ dan secara umum pelat didesain sebagai pelat dua arah.

Langkah awal dalam analisa struktur yaitu mempelajari struktur bangunan dan menentukan pembebanan sesuai dengan peruntukan fungsi ruang dan bangunan. Untuk perhitungan pembebanan balok, kolom, dan pelat dilakukan dengan analisa numerik menggunakan faktor reduksi ( $R_e=3$ ) sesuai dengan ACI-318-2005 dan SNI 03-2846-2002

### 3.5.2 Pemodelan Struktur

berdasarkan gambar yang digunakan pada saat pembangunan. Gambar diperoleh dari inventarisasi Fakultas Pertanian. Denah ruang perkuliahan

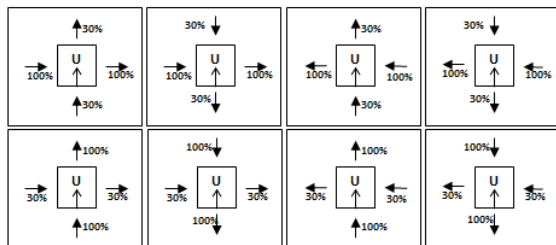


Gambar 3.2 Pemodelan 3D Struktur Gedung Pertanian

### 3.5.3 Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur gedung ruang perkuliahan dan laboratorium terpadu Fakultas pertanian Universitas Hasanuddin dihitung berdasarkan ketentuan pada SNI 1727 : 2013 untuk perhitungan beban gravitasi. Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) tahun 1983 maka tiap jenis beban diuraikan sebagai berikut: 1. Beban Mati, 2. Beban Hidup, 3. Beban Angin, 4. Beban Gempa, 5. Beban Kombinasi.

Dalam perhitungan pembebanan gempa, maka beban gempa diperhitungkan terhadap delapan arah kombinasi dengan arah utama sebesar 100% dan arah tegak lurus sebesar 30%. Gambar 3.3 berikut menunjukkan delapan kemungkinan gempa tersebut:



Gambar 3.3 Kombinasi Arah Gempa

Sehingga kombinasi pembebanan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Kombinasi 1 =  $1,4(DL+SW)$

Kombinasi 2 =  $1,2(DL+SW) + 1,6LL$

Kombinasi 3 =  $1,2(DL+SW) + 1LL + 1EX + 0,3EY$

Kombinasi 4 =  $1,2(DL+SW) + 1LL - 1EX + 0,3EY$

Struktur ruang perkuliahan dan laboratorium terpadu Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin dan laboratorium (dalam 2D) dan gambar struktur bangunan 3D dapat dilihat pada gambar berikut:

Kombinasi 5 =  $1,2(DL+SW) + 1LL + 1EX - 0,3EY$

Kombinasi 6 =  $1,2(DL+SW) + 1LL - 1EX - 0,3EY$

Kombinasi 7 =  $1,2(DL+SW) + 1LL + 0,3EX + 1EY$

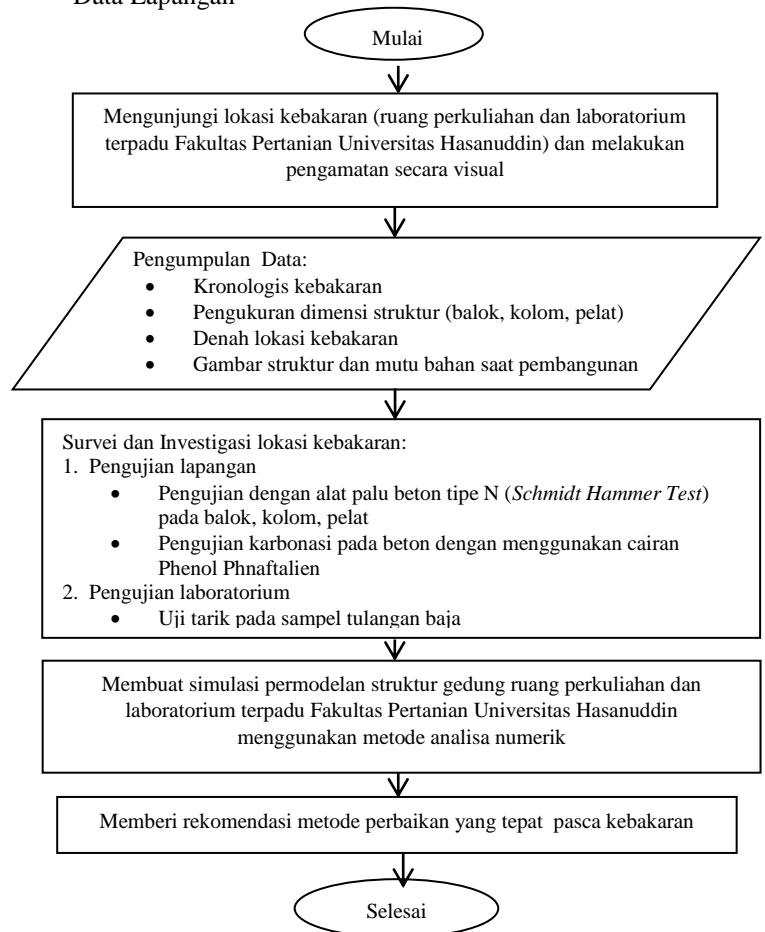
Kombinasi 8 =  $1,2(DL+SW) + 1LL - 0,3EX + 1EY$

Kombinasi 9 =  $1,2(DL+SW) + 1LL + 0,3EX - 1EY$

Kombinasi 10 =  $1,2(DL+SW) + 1LL - 0,3EX - 1EY$

### 3.5.4 Metodologi Pengambilan Data Lapangan

Diagram Alir Metode Pengambilan Data Lapangan



Gambar 3.4 Diagram Alir Metode Pengambilan Data Lapangan

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Hasil Penelitian

###### 4.1.1 Gambaran Visual Kerusakan Struktur

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan secara langsung di lokasi kebakaran yaitu gedung perkuliahan dan laboratorium terpadu Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin, maka dapat dilihat pengamatan visual di lokasi kebakaran pada gambar 4.1 sebagai berikut:



Gambar 4.1 Keadaan Elemen Struktur Pasca Kebakaran

###### 4.1.2 Pemeriksaan Benda-benda Terbakar

Selain pengamatan terhadap struktur gedung, dilakukan juga pengamatan dan evaluasi terhadap benda-benda terbakar di lokasi kejadian. Dengan melakukan evaluasi terhadap benda yang terbakar maka dapat diperkirakan panas tertinggi yang terjadi di lokasi kebakaran (Tabel 4.1). Adapun benda-benda terbakar yang ada di lokasi yaitu: plastik, kaca, dan aluminium yang meleleh dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Material Leleh pada Lokasi Kebakaran

Tabel 4.1 Temperatur Leleh Material

Material	Temperatur Leleh (°C)
Kaca (Soda Lime Glass)	600 – 724
Plastik (PVC)	160 – 180
Aluminium	660 – 700

Dari hasil evaluasi benda-benda terbakar, maka diperkirakan temperatur kebakaran mencapai  $\pm 720^{\circ}\text{C}$ .

###### 4.1.3 Kuat Tekan Sisa Beton (Schmidt Hammer Test)

Berdasarkan hasil kuat tekan dengan pengujian Schmidt Hammer, maka diperoleh nilai kuat tekan beton ( $f'_c$ ) rata-rata:

- Kolom  
Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) terbaik = 20 MPa  
Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) terburuk = <10 MPa
- Balok  
Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) terbaik = 20 MPa  
Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) terburuk = <10 MPa
- Pelat  
Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) = 22 Mpa

Evaluasi Schmidt Hammer test memperlihatkan bahwa telah terjadi degradasi kekuatan beton yang disebabkan oleh suhu pada saat kebakaran yang tidak merata sehingga kekuatan sisa beton pasca kebakaran tidak seragam.

###### 4.1.4 Kuat Tarik Sisa Baja Tulangan

Sampel baja tulangan yang diuji diambil dari tulangan balok-kolom yang dapat dijadikan sebagai sampel untuk mewakili kondisi baja tulangan di lokasi kebakaran. Baja tulangan yang diuji berupa baja tulangan polos terdiri dari empat sampel dengan masing-masing berdiameter 7 mm, 9 mm, 11 mm, dan 14 mm.

Dari hasil uji tarik baja ini diperoleh masing-masing nilai tegangan maksimum sebesar 574.1323 MPa pada tulangan berdiameter 7 mm, 561.9564 MPa untuk diameter 9 mm, 426.341 MPa untuk diameter 11 mm, dan 475.5135 Mpa untuk baja tulangan dengan diameter 13 mm. rata-rata tegangan maksimum sebesar 509.4858 MPa. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa baja tulangan yang digunakan pada lokasi kebakaran menggunakan Baja Tulangan Polos BJ 50 dengan nilai  $f_u = 500$  MPa dan nilai  $f_y = 290$  Mpa.

###### 4.1.5 Uji Karbonasi

Uji karbonasi termasuk dalam kategori uji tidak merusak (*Non-destructive test*) dengan menggunakan indikator kimia yaitu *Phenolphthalein*



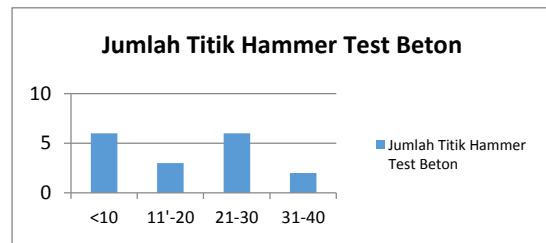
yang digunakan untuk mengetahui sifat asam atau basa suatu material ketika ditetesi/diolesi dengan cairan tersebut. Rentang PK Phenolphthalein adalah antara 8,4 – 10, dengan perubahan warna ungu sangat tua hingga ungu sangat muda (Gambar 2.7). Apabila terjadi perubahan warna maka material yang diuji bersifat basa (masih dalam kondisi baik untuk beton) tetapi jika tidak terjadi perubahan warna berarti material yang diuji bersifat asam (dalam keadaan tidak baik untuk beton). Pada gambar 4.3 berikut adalah pengujian dengan indikator PP yang dilakukan di lokasi pasca kebakaran:



Gambar 4.3 Uji Karbonasi pada Elemen Struktur Pasca Kebakaran

Dari hasil uji karbonasi maka dapat disimpulkan bahwa plat masih dalam kondisi baik karena terjadi perubahan warna, sedangkan pada elemen struktur lainnya tidak terjadi perubahan warna setelah disemprotkan indikator kimia, hal ini membuktikan bahwa telah terjadi penurunan mutu beton akibat kebakaran.

Pengambilan titik Hammer Test ini berdasarkan accidental sampling, yaitu pengambilan sampel yang dilaksanakan karena titik-titik tersebut mengalami kebakaran. Tingkat keseragaman kekuatan beton pada pengujian Hammer Test beton dapat dilihat pada gambar 4.4 dalam bentuk histogram berikut:



Gambar 4.4 Jumlah Titik Hammer Test Beton Berdasarkan Keseragaman Nilai Pengujian

Dari pengambilan data Hammer Test maka perlu dilakukan uji kuat tekan untuk menentukan nilai kuat tekan beton yang lebih akurat, untuk itu diperlukan pengambilan sampel dengan core drill. Penentuan pengambilan titik sampel core drill dilakukan dengan metode stratified sampel dimana sebelumnya sampel telah dikelompokkan menurut keseragamannya. Banyaknya sampel core drill dihitung dengan rumus:

$$n = \frac{N}{N(d)^2 + 1}$$

Dimana:

n = banyak sampel

N = banyak populasi (berdasarkan keseragaman)

d = batas toleransi kesalahan (0.1)

Dari rumus ini maka jumlah sampel core drill yang dibutuhkan yaitu:

Tabel 4.2 Jumlah Sampel Core Drill

Nilai Hammer Test	Sampel Core Drill
< 10	6
11-20	3
21-30	6
>30	2

Namun karena keterbatasan persyaratan pemeriksaan oleh pihak kampus, maka tidak diijinkan untuk melakukan pengujian yang sifatnya destruktif atau merusak, sehingga core drill tidak dilaksanakan.

## 4.2 Pembahasan Penelitian

### 4.2.1 Perhitungan Kekuatan Struktur Awal

Pembebanan yang diberikan pada struktur yaitu:

Beban Mati:

#### • Lantai 1

Beban Pasir setebal 1cm =  $0,01 \times 16 = 0,16 \text{ kN/m}^2$

Beban spesi setebal 3cm =  $0,03 \times 22 = 0,66 \text{ kN/m}^2$

Beban keramik tebal 1cm =  $0,01 \times 22 = 0,22 \text{ kN/m}^2$

**Total = 1,04 kN/m<sup>2</sup>**

#### • Lantai 2 dan 3

Beban Pasir setebal 1cm =  $0,01 \times 16 = 0,16 \text{ kN/m}^2$

Beban spesi setebal 3cm =  $0,03 \times 22 = 0,66 \text{ kN/m}^2$

Beban keramik tebal 1 cm =  $0,01 \times 22 = 0,22 \text{ kN/m}^2$   
 Beban plafon dan penggantung =  $0,2 \text{ kN/m}^2$   
 Beban instalasi ME =  $0,25 \text{ kN/m}^2$   
**Total =  $1,49 \text{ kN/m}^2$**

- Atap  
 Penutup atap genteng =  $0,5 \text{ kN/m}^2$   
 Berat plafon + penggantung =  $0,2 \text{ kN/m}^2$   
 Instalasi ME =  $0,25 \text{ kN/m}^2$   
**Total =  $0,95 \text{ kN/m}^2$**
- Beban pada balok  
 Dinding pasang bata  $\frac{1}{2}$  batu =  $3,6 \times 2,5 = 9 \text{ kN/m}^2$   
 Beban Hidup =  $2,5 \text{ kN/m}^2$

Karakteristik dan Dimensi Struktur Lantai 3 Pra Bakar

Mutu Beton = K225 (20 MPa)  
 Mutu Baja = BJ 50 ( $f_u = 500 \text{ MPa}$ ;  $f_y = 290 \text{ MPa}$ )  
 Modulus E beton =  $4700 \times (20 \text{ MPa})^{0,5}$   
 Kolom =  $45 \text{ cm} \times 45 \text{ cm}$   
 Balok =  $45 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$

Perhitungan dengan Metode Analisa Numerik

Perhitungan dengan analisa numerik ini dilakukan dengan menganalisis terlebih dahulu struktur bangunan. Faktor reduksi kekuatan ( $R_e = 3$ ) sesuai dengan ACI-318-99 dan SNI 03-3846-2002.

Kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu:

Kombinasi 1 =  $1,4(DL+SW)$   
 Kombinasi 2 =  $1,2(DL+SW) + 1,6LL$   
 Kombinasi 3 =  $1,2(DL+SW) + 1LL + 1EX + 0,3EY$   
 Kombinasi 4 =  $1,2(DL+SW) + 1LL - 1EX + 0,3EY$   
 Kombinasi 5 =  $1,2(DL+SW) + 1LL + 1EX - 0,3EY$   
 Kombinasi 6 =  $1,2(DL+SW) + 1LL - 1EX - 0,3EY$   
 Kombinasi 7 =  $1,2(DL+SW) + 1LL + 0,3EX + 1EY$   
 Kombinasi 8 =  $1,2(DL+SW) + 1LL - 0,3EX + 1EY$   
 Kombinasi 9 =  $1,2(DL+SW) + 1LL + 0,3EX - 1EY$   
 Kombinasi 10 =  $1,2(DL+SW) + 1LL - 0,3EX - 1EY$

Dimana:

DL = beban mati tambahan

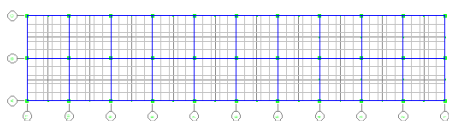
SW = berat sendiri struktur

LL = beban hidup

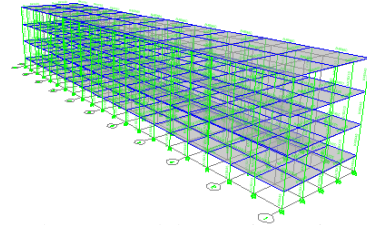
EX = beban gempa arah X

EY = beban gempa arah Y

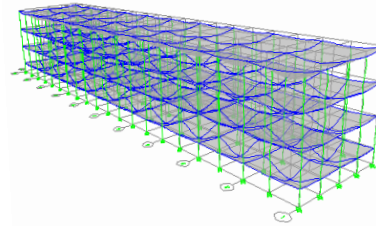
Dari hasil perhitungan analisa struktur dengan metode analisa numerik seperti pada gambar 4.4, maka diperoleh hasil mutu beton pra bakar yaitu sebesar  $f'_c = 20 \text{ MPa}$  dengan pembebanan maksimum sebesar  $2,07 \text{ t/m}$



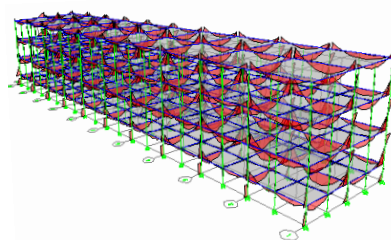
(a) Permodelan Tampak Atas



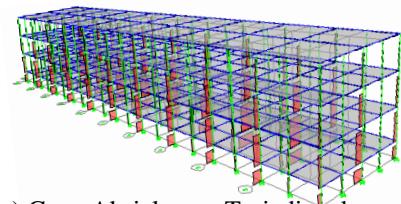
(b) Permodelan 3 (tiga) Dimensi



(c) Deformasi pada Struktur



(d) Momen Pada Struktur



(e) Gaya Aksial yang Terjadi pada Struktur

Gambar 4.5 Hasil Analisa Struktur Gedung Sebelum Terbakar Dengan Metode Analisa Numerik

#### 4.2.2 Perhitungan Kekuatan Struktur Sisa

Perhitungan dengan Metode Analisa Numerik.

Pembebanan yang diberikan adalah sama dengan pembebanan pada struktur sebelum terjadi kebakaran.

Karakteristik dan Dimensi Struktur Lantai 3 Pasca Bakar

Mutu Beton =  $< 10 \text{ MPa}$

Mutu Baja = BJ 50 ( $f_u = 500 \text{ MPa}$ ;  $f_y = 290 \text{ MPa}$ )

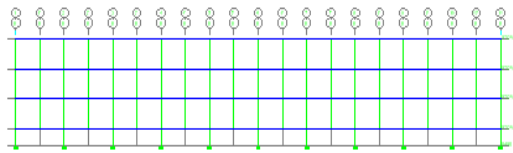
Modulus E beton =  $4700 \times (20 \text{ MPa})^{0,5}$

Kolom =  $45 \text{ cm} \times 45 \text{ cm}$

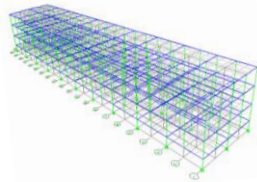
Balok =  $45 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$



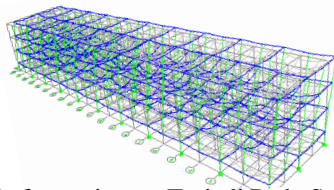
Perhitungan dengan Metode Analisa Numerik  
 Perhitungan dengan analisa numerik ini dilakukan dengan menganalisis terlebih dahulu struktur bangunan. Faktor reduksi kekuatan ( $R_e = 3$ ) sesuai dengan ACI-318-99 dan SNI 03-3846-2002. Kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu sama pada struktur awal bangunan fakultas pertanian. Dari hasil perhitungan analisa struktur dengan metode analisa numerik pada gambar 4.5, maka diperoleh hasil mutu beton pra bakar yaitu sebesar  $f'_c = 8 \text{ MPa}$  dengan pembebanan maksimum sebesar 1,86 t/m. Sesuai dengan standarisasi yang berlaku maka beton dengan kekuatan struktur  $f'_c$  di bawah 10 MPa hanya dapat digunakan untuk beton non struktur sehingga beton pasca bakar tidak dapat lagi digunakan.



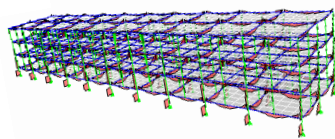
(a) Tampak Samping 2 (dua) Dimensi Struktur



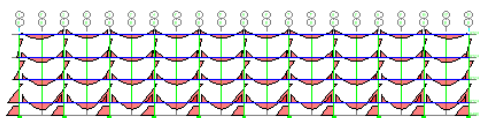
(b) Tampak 3 (tiga) Dimensi Struktur



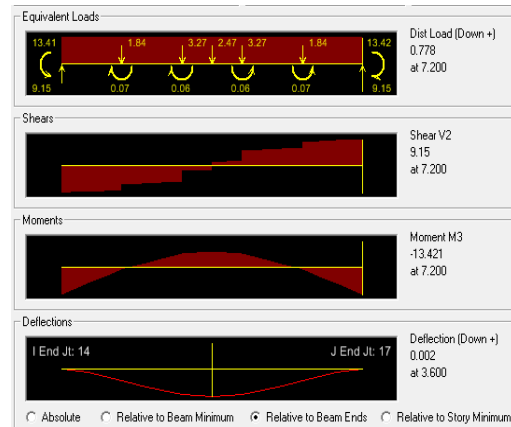
(c) Deformasi yang Terjadi Pada Struktur



(d) Momen pada Struktur dalam 3(tiga) Dimensi



(e) Momen pada Struktur dalam 2 (dua) Dimensi



(f) Kolom Analisa Komputasi untuk Menampilkan Diagram Gaya dan Defleksi Terbesar

Gambar 4.6.(a), (b), (c), (d) Hasil Analisa Struktur Gedung Pasca Kebakaran Dengan Metode Analisa Numerik

#### 4.2.3 Hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. Dari pengamatan secara visual dan evaluasi terhadap benda-benda terbakar di lokasi kebakaran yang terjadi pada gedung perkuliahan dan laboratorium terpadu Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin maka ditemukan bahwa tingkat panas sebesar  $\pm 720^\circ \text{C}$  (lihat tabel 4.1)
2. Hasil pengamatan visual juga menunjukkan terjadinya perubahan warna pada beton menjadi warna abu-abu (masih dalam batas aman) dan terjadi retakan halus sekitar 0,5mm.
3. Hasil pengujian Schmidt Hammer memperlihatkan kondisi terbaik struktur memiliki nilai  $f'_c$  rata-rata = 20 Mpa dan kondisi terburuk  $f'_c = < 10 \text{ Mpa}$ .
4. Hasil uji kuat tarik memperlihatkan bahwa rata-rata baja tulangan putus pada  $f_u = 500 \text{ Mpa}$ , dengan demikian dapat ditentukan bahwa mutu baja yang digunakan adalah BJ 50 dengan karakteristik  $f_u = 500 \text{ Mpa}$  dan  $f_y = 290 \text{ Mpa}$ .
5. Hasil analisa struktur dengan metode analisa numerik menunjukkan bahwa pada keadaan pra bakar beban maksimum yang dapat diterima oleh struktur dengan mutu beton  $f'_c = 20 \text{ MPa}$  (K225) adalah sebesar 2,07 t/m dan pada keadaan pasca bakar beban maksimum yang dapat diterima oleh struktur dengan mutu beton  $f'_c = < 10 \text{ MPa}$  adalah

sebesar 1,86 t/m. dengan demikian terjadi penurunan kekuatan sebesar 0,21 t/m atau terjadi penurunan kekuatan beton sebesar 10% dari kondisi sebelum terbakar.

6. Dari hasil analisa struktur yang dilakukan maka kerusakan yang dialami oleh gedung perkuliahan dan laboratorium terpadu Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin Makassar dapat dikategorikan dalam kerusakan sedang ditandai dengan terjadinya retakan ringan (kurang dari 1 mm), garis halus pada beton, dan tidak terjadi lendutan hingga rusak berat pada beberapa elemen struktur (terutama balok) Metode perbaikan yang direkomendasikan yaitu sandblasting atau coating yaitu pegamplasan ataupun pemberian lapisan permukaan pada beton yang mengalami retak ringan pada elemen struktur yang mengalami kerusakan sedang hingga metode rekonstruksi (pembangunan kembali) pada beton yang mengalami penurunan kekuatan hingga  $f'c = 8$  Mpa.

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisa struktur dengan metode analisa numerik menunjukkan bahwa beton dengan  $f'c = 8$  Mpa dapat memikul beban sebesar 1,86 t/m. ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan kekuatan beton sebesar 10%.
2. Elemen struktur dikategorikan dalam rusak sedang yang ditandai dengan terjadinya retak halus (tidak lebih dari 1mm) dan tidak terjadi lendutan, ada pula beberapa bagian struktur kolom yang dikategori dalam kerusakan berat yang ditandai dengan penurunan kekuatan struktur hingga  $< 10$  MPa (tidak memenuhi syarat standarisasi sebagai beton struktur).
3. Untuk kategori kerusakan sedang maka direkomendasikan untuk melakukan metode perbaikan berupa pengamplasan ataupun pelapisan pada bagian beton yang telah diperbaiki (membuang bagian yang rusak), dan untuk kategori rusak berat direkomendasikan untuk melaksanakan rekonstruksi (pembangunan kembali).

### 5.2 Saran

Dari serangkaian penelitian dan pembahasan penelitian yang dilakukan, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Untuk hasil pemeriksaan beton yang lebih akurat diperlukan beberapa pengujian destruktif (pengujian merusak) yaitu pengujian kuat tekan beton sehingga diperlukan sampel beton yang di ambil dengan *core drill*.
2. Perlu dilakukan peninjauan terhadap struktur yang telah terbakar dalam hal memikul struktur jika tidak segera dilakukan perbaikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Commite. 2005. "Building Code Requirments For Structural Concrete and Commentary". American Concrete Institute. Amerika
- Ahmad, Irma, et al. 2009. "Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Kuat Tekan Beton". Tesis program Pasca Sarjana Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar. Makassar
- Arwanto, R. 2006. "Respon Kuat Tekan Hammer Test Dengan Compression Test Pada Beton Normal dan Beton Pasca Bakar". Media Komunikasi Teknik Sipil Vol.14, No.1, edisi: XXXIV Pebruari
- Bayuasri, Trisni, et al. 2006. "Perubahan Perilaku Mekanis Beton Akibat Temperatur Tinggi". PILAR Vol. 15 No.2 pp117-126. Semarang
- Corsika, Yulia, dan Rahmi K. 2012. "Analisis Perilaku Mekanis dan Fisis Beton Pasca Bakar". Jurnal Departemen Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara. Medan
- Darmawan, M. Sigit. 2009. "Evaluasi Struktur Bangunan Pasar di Madiun Paska Kebakaran". ISBN 978-979-18342-1-6. Surabaya
- Dinas Pekerjaan Umum. 2002. "Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung". SNI 03-2847-2002.
- Dinas Pekerjaan Umum. 2004. "Pemeriksaan konstruksi Bangunan Beton Bertulang Pasca Bakar". Pd-T-08-2004-C.
- Dinas Pekerjaan Umum. 2012. "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk

Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”. SNI 1726-2012.

Dipohusodo, I. 1994. “Struktur Beton Bertulang”. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta

Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1983. “Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983”. Bandung

Eva, Angelina. 2013. “Pengaruh Suhu Pembakaran Terhadap Kuat Tekan Beton Pasca Bakar Dengan Substitusi Sebagian Semen Oleh *Fly Ash* dan Penambahan *Superplasticizer*”. Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya. Jakarta

Harinaldi. 2005. “Prinsip-Prinsip Statistik Untuk Teknik dan Sains”. Erlangga. Jakarta.

Hartono, Henry. 2007. “Analisis Kerusakan Struktur Bangunan Gedung Bappeda Wonogiri”. *Dinamika Teknik Sipil* Vol.7 No.1 pp 63-71

Hesna Y, et al. 2009. “Evaluasi Penerapan Sistem Keselamatan Kebakaran Pada Bangunan Gedung Rumah Sakit Dr. M. Djamil Padang”. *Jurnal rekayasa Sipil* vol.5 no.2

Ilham, M.Noer. 2011. “Analisis Struktur Gedung Dengan Software Etabs v9.2.0”. *Literatur Pelatihan Etabs*

Indriani, Lilis. 2012. “Kuat Lentur Balok Komposit Baja-Beton Pasca Bakar”. Fakultas Teknik Universitas Darwan Ali.

Joedono, Ngudiyono. 2007. “Mechanical Properties of After-Fire Concrete With Rice Husk Ash (RHA) As An Additional Material”. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, No.1, Vol.9

Kumaat, Ellen. 2003. “Kekuatan Lekat Beton dan Baja Tulangan Akibat Pemanasan”. *Dimensi Teknik Sipil* Vol.5 No.2 September, Pg.103-108.

Liansari, Angelina Eva, et al. 2013.”Pengaruh Suhu Pembakaran Terhadap Sifat Mekanik Beton Fly Ash Dengan Penambahan Water Reducer (203M) “. *Konferensi Nasional Teknik Sipil*. Surakarta

Mulyono, Tri. 2006. “Teknologi Beton”. Andi Offset. Yogyakarta

Pradono, Mulyo Haris. 1999. “Pengaruh Kuat Beton Terhadap Struktur Beton Bertulang Pasca Kebakaran”. ISSN 1411-2213. Serpong

Rahmah, S.N. 2000. “Analisis material Beton Pasca Bakar (Tinjauan Sifat Mekanik dan Kimiawi)”. Tesis Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta

Rochman, Abdul. 2006.”Gedung Pasca Bakar Estimasi Kekuatan Sisa dan Teknologi Perbaikannya”. Skripsi Jurusan Teknik Sipil UMS

Silaban, Ridho S. 2006. “Analisis Pengaruh Peningkatan Temperatur (Pasca Bakar) Terhadap Kuat tekan Beton Normal”. Skripsi. Jakarta

Sirait, Koresj B. 2003. “Kajian Perilaku Beton Bertulang Pasca Bakar”. Tesis Program Pasca Sarjana Universitas Sumatera Utara. Medan.

Suhendro, B. 2000.”Analisis Degradasi Kekuatan Struktur Beton Bertulang Pasca Kebakaran”. PAU Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta

Suprpto. 2007. “Sistem Proteksi Kebakaran Pasif Kaitannya dengan Aspek Keselamatan Jiwa”. *Jurnal Permukiman* Vol.2 No.2 September 2007

Sutapa, A.A. Gede, et al. 2011. “Pemulihan Kekuatan Tarik Belah Beton Dengan Variasi Durasi Perawatan Pasca Bakar”. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* Vol.15, No.2

Tatong Burhan. 2007.”Analisi Material Beton Bertulang Pasca Kebakaran dan Metode Perbaikan Elemen Strukturnya”. Tesis Pasca Sarjana. Palu

Tjokrodinuljo, K. 2000.”Pengujian Mekanik Laboratorium Beton Pasca Bakar”. PAU Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta

Triwiyono, A. 2000.”Kerusakan Struktur Gedung Pasca Kebakaran”. PAU Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Wahyuni, Edhi, et al. 2010. “Pengaruh Perbedaan Proses Pendinginan Terhadap Perubahan Fisik dan Kuat Tekan Beton Pasca Bakar”. *Jurnal Rekayasa Sipil* Vol.4, No-1-2010 ISSN 1978-5658